

Facoltà di Ingegneria – Università di Pisa
Corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture
Prof. Stefano Bennati (Presidente)

SEMINARIO
29 MAGGIO 2007

**DALL'INGEGNERIA EMPIRICA
VERSO L'INGEGNERIA DELLA SCIENZA**

**La perizia di tre Matematici
per la Cupola di San Pietro (1742)**

OLIMPIA NIGLIO
Università di Pisa



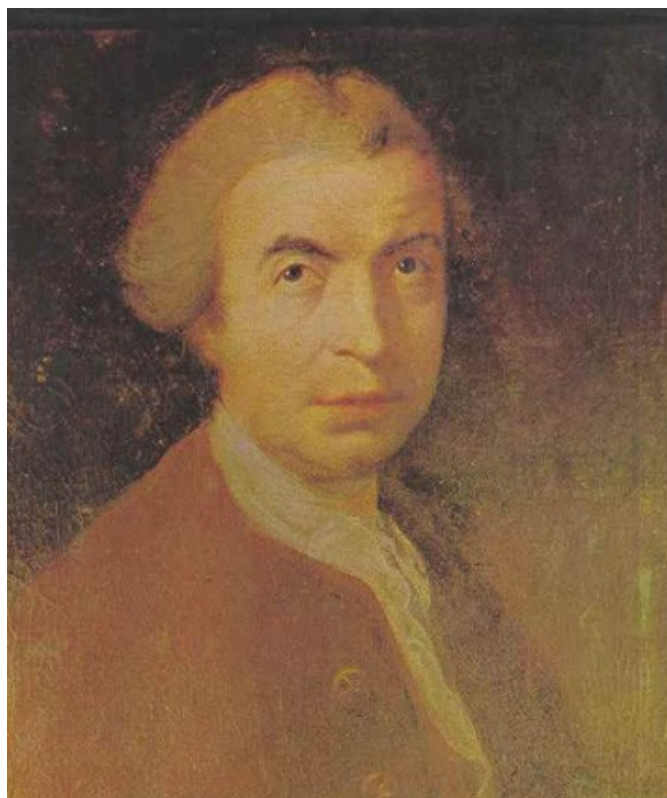
**PARERE DI TRE MATEMATICI SOPRA I DANNI
CHE SI SONO TROVATI NELLA CUPOLA DI S. PIETRO
SUL FINIRE DELL'ANNO MDCCXLII.**

Dato per ordine di nostro signore Papa Benedetto XIV.

Ruggiero Giuseppe Boscovich
della Compagnia di Gesù
Professore di Matematica in Collegio Romano

Tommaso Le Seur
dell'Ordine de' Minimi
Professore di Matematica

Francesco Jacquier
dell'Ordine de' Minimi
Professore di Matematica



*Ruggiero Giuseppe Boscovich
(Rudjer Boskovic)*

ARCHITETTURA EST SCIENTIA

Già nel Libro Primo del *De Architectura*, pur non assegnando alla parola scienza il significato attuale, Marco Vitruvio Pollione affermava¹ che in architettura si trovano due elementi: *"ciò che è significato e ciò che significa. Ciò che è significato è l'oggetto in questione, mentre ciò che significa è una dimostrazione condotta secondo il metodo razionale della scienza"*.

Riprendendo questo pensiero, Daniele Barbaro, uno dei principali interpreti italiani del trattato di Vitruvio, nel 1556 pubblicava un'edizione illustrata de' "I Dieci Libri dell'Architettura" contenente interessanti osservazioni² nella quale, a differenza di altri commentatori quali Sebastiano Serlio, Andrea Palladio e Jacopo Barozzi da Vignola, aveva scelto come filo conduttore del suo lavoro l'assioma vitruviano *"architettura est scientia"*. L'intenzione era di fondare l'architettura sulla matematica per farne un'espressione di verità sostenendo che l'arte e l'architettura sono attività intellettuali risultanti non da dati sensoriali, ma dalla ragione; di conseguenza, poiché ragione e scienza partecipano alla verità assoluta, secondo Barbaro la dignità e la grandezza dell'architettura dipendono dal suo radicamento nelle discipline scientifiche³.

A parte questi enunciati astratti, le attuali teorie scientifiche finalizzate all'analisi del comportamento meccanico delle costruzioni iniziarono a svilupparsi nella seconda metà del XVII secolo. Solo allora la meccanica dei materiali percorreva i primi passi con le ricerche di Robert Hooke e Mariotte⁴, avviandosi lungo quella strada che Galileo aveva aperto indicando l'osservazione sperimentale come fondamento della conoscenza scientifica. Nel suo ultimo lavoro⁵ lo stesso Galileo presentava le prime osservazioni sulla *"nuova scienza attinente alla meccanica"* delle strutture. Dalla sua opera nacque quella concezione secondo la quale le relazioni tra cause ed effetti, che nel caso specifico riguardano il comportamento delle strutture, si individuano per via sperimentale per stabilirne poi un valore teorico con il supporto di una base scientifica.

Le prime applicazioni dei nuovi metodi scientifici ai problemi strutturali cominciarono ad apparire nel XVIII secolo. Fu allora che Benedetto XIV, nel 1741, commissionò una storica perizia ai tre Matematici Ruggiero Giuseppe Boscovich, Francesco Jaquier e Tommaso Le Seur della "Repubblica Romana dei Dotti". Erano sorte infatti serie preoccupazioni per le condizioni statiche della cupola di San Pietro, nella quale si erano manifestate importanti lesioni. Sull'argomento erano già stati sviluppati interessanti studi, accompagnati da eruditi ed accesi dibattiti, che avevano condotto alla redazione di veri e propri trattati, finalizzati anche all'ordinamento delle conoscenze

¹ P. Cross (a cura di), *De Architectura*, Torino 1997, Vol I, p. 13

² Daniele Barbaro, *I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio*, Venezia 1556

³ B. Evers (a cura di), *Teoria dell'architettura. Dal Rinascimento a oggi*, Köln 2006, pp. 54-61

⁴ S. P. Timoshenko, *History of Strength of Materials*, London 1953, pp. 17-24

⁵ G. Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica et i movimenti locali*, 1638.

sull'argomento⁶. Sullo stato della cupola i documenti storici riportano infatti i pareri di altri studiosi, come quello ben noto del matematico padovano Giovanni Poleni⁷.

Lo studio dei tre Matematici si distingueva per un'importante innovazione, perché in esso si eseguiva una perizia applicando, sembra per la prima volta, un criterio scientifico allo scopo di interpretare il comportamento meccanico di un manufatto architettonico. La sua importanza storica consiste nel fatto che, contrariamente alle consuetudini precedenti, basate su regole empiriche generalmente di natura geometrica (si vedano per esempio gli studi del stesso Poleni sulla statica degli archi), si fanno intervenire concezioni teoriche, questa volta di natura scientifica, per applicarle allo studio di un problema strutturale. Nella perizia fu applicato infatti, sia pure in una forma non del tutto corretta, il principio dei lavori virtuali, utilizzandolo come strumento per il dimensionamento degli anelli metallici da applicare al tamburo della cupola.

Alcuni studiosi⁸, per cercare una data significativa, hanno voluto indicare questa perizia perfino come il momento storico in cui è avvenuto il passaggio da un'ingegneria fondata su tradizioni artigianali e di natura empirica, ad un'ingegneria basata sull'applicazione delle nuove teorie scientifiche che proprio allora iniziavano ad affermarsi. La perizia dei tre Matematici fu consegnata sul finire del 1742 e fu stampata nel 1743. In effetti, per il metodo di studio introdotto, può rappresentare realmente l'inizio della storia della moderna ingegneria civile proprio perché, contrariamente alle consuetudini precedenti, al posto delle regole dettate dall'intuizione e dall'esperienza, si applicava un procedimento scientifico per valutare lo stato di sollecitazione e le caratteristiche di resistenza di una costruzione, aprendo una polemica che è durata fino all'inizio del XIX secolo. Un avvenimento che fu considerato un atto rivoluzionario, che però ha condotto a valutare la tecnica come un impiego cosciente delle conoscenze delle scienze naturali per i compiti pratici, avviando così un processo che non appare ancora concluso⁹.

⁶ P. De La Hire, *Traité de mecanique : ou l'on explique tout ce qui est nécessaire dans la pratique des arts, & les propriétés des corps pesants lesquelles ont un plus grand usage dans la physique* (1695)

P. Bourguer, *Sur les lignes courbes qui son propres à former les voûtes en dôme*, in *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, Paris 1736

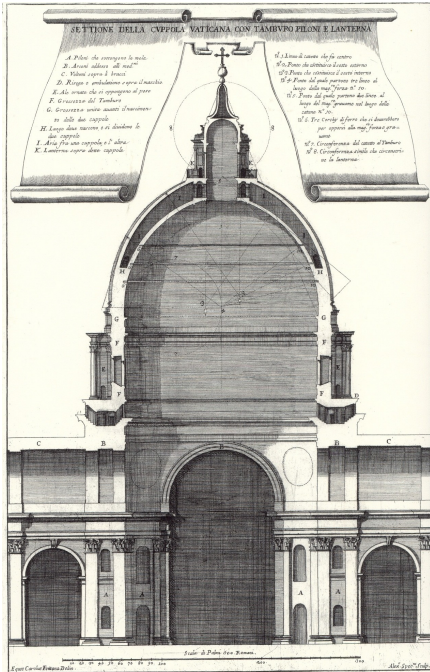
⁷ G. Poleni, *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano, e de' danni di essa e de' ristoramenti loro divise in libri cinque. Alla santità di nostro Signore Papa Benedetto XIV*, Padova 1748

⁸ R. von Halász, *La prefabbricazione nell'edilizia industrializzata*, Milano 1969, pp. 3-9

⁹ S. Di Pasquale, *L'Arte del Costruire tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia, 1996.

IL TEMPIO VATICANO

La costruzione della cupola di San Pietro iniziò il 15 luglio 1588 sotto Sisto V, ma si interruppe il 13 maggio 1590 poco prima della morte dello stesso Pontefice quando, seguendo il progetto di



Michelangelo, si era arrivati all'impostazione del tamburo. La costruzione fu poi portata a termine da Giacomo Della Porta. Le prime lesioni furono osservate già nel 1603, sotto Clemente VIII, poco dopo la fine della costruzione, quando erano stati terminati i mosaici delle volte. Ulteriori danni furono poi registrati a partire dal 1631, come si evince nella biografia di Gian Lorenzo Bernini scritta da Filippo Baldinucci¹⁰. Si sospettava che la statica della cupola fosse stata compromessa dall'inserimento delle scale a "lumaca" poste all'interno dei piloni ad opera del Bernini, sotto il pontificato di Urbano VIII. La polemica sull'intervento berniniano però, si smorzò presto. Lo stesso Baldinucci osservò che già prima dell'intervento del Bernini erano state rilevate delle aperture interne alla cupola, in

particolare sul cornicione e sul tamburo. Alcuni avevano imputato i danni a fenomeni di assestamento della grande cupola, nonché alle differenti tecniche esecutive utilizzate nel corso della realizzazione. I tre Matematici però, asseriscono che i danni descritti dal Baldinucci non erano quelli riscontrati nel 1742, se non altro per il fatto che le numerose critiche mosse al Bernini non avrebbero certo evitato di evidenziare situazioni di dissesti così evidenti quali apparivano invece nel 1742. Quindi i dissesti si erano moltiplicati ed erano in evoluzione.

"Il Tempio Vaticano", che Carlo Fontana pubblicò nel 1694¹¹, consente di seguire le fasi della costruzione della Basilica di San Pietro e della sua cupola fino a quando il complesso ha assunto la configurazione attuale. Il testo ripercorre le vicende della costruzione della fabbrica dalle origini, quando l'imperatore Costantino volle eretta la basilica presso la tomba dell'apostolo Pietro, fino alla fine del XVII secolo. L'opera non si proponeva solo di celebrare la "più grande fabbrica della cristianità" ma intendeva fornire gli strumenti per comprendere *"quanto sia stato l'artificio, e l'ingegnosa, e stabile costruzione di così grande, e portentosa Machina; acciò anche le Persone*

¹⁰ F. Baldinucci, *Vita del cavaliere Gio. Lorenzo Bernini, scultore, architetto e pittore*, Firenze 1682;
S. Samek Ludovici, *Vita di Gian Lorenzo Bernini scritta da Filippo Baldinucci*, Milano 1948

¹¹ G. Curcio, *Il Tempio Vaticano 1694. Carlo Fontana*, ristampa anastatica de *"Il Tempio Vaticano e sua origine"*, Milano 2003, p. XV

absenti studiose, e professori delle Matematiche possano intendere li modi praticati da Bramante, Bonaruota, & altri grand'huomini, che la disposero".

Da "Il Tempio Vaticano e sua origine" di Carlo Fontana

Descrizione della geometria della cupola e le regole che sottendono alla sua costruzione.

*"L'altezza dal piano del Pavimento sino al posamento della Palla della Croce nella linea del Cateto, divisa in tre parti, una costituisce il Vano del Tamburo e Cupola, come la circonferenza **L** lo dimostra. Il centro di questa essendo il luogo dove comincia il Sesto, assegna nella tangente verso il Cornicione il piano del Piedistallo, e verso la Lanterna la parte del sopra Sesto segnato **M**. Le tre linee **Q** indicano il luogo del maggior spingimento della Cupola, e le due linee segnate **O**, che partono da terra diagonalmente, costituiscono nel Soprasesto **M** l'apertura dell'occhio, e da esso il vacuo e Volta della Lanterna. L'altre linee **M**, parimente diagonali, che partono dal Zoccolone **G**, costituiscono la Base del Tamburo, quasi come un triangolo equilatero. La linea **P**, che va a intersecare con la perpendicolare interiore del Tamburo, dimostra il Piramidale sostenimento dell'Edifizio. La linea diagonale **R** ha origine nel fine dell'estensione angolare de' Piloni **A**, quale va a terminare nel Piedistallo esteriore della Cupola, dove comincia il Sesto, e dimostra la Base di tutto l'Edifizio".*

Capitolo XVI, dimensioni principali della cupola

"Il diametro del Vano della Cupola è palmi 190 $\frac{2}{3}$. Il Diametro dell'occhio della Lanterna è palmi 32, cioè la sesta parte del diametro della Cupola, benché manca l'insensibile parte di oncie 5, effetto delli Manuali nell'attaccare le materie. La linea perpendicolare che interseca la linea orizzontale che divide il dritto dal principio del sesto della Cupola, costituisce il punto 3, che assegna il sesto della Cupola interna. L'altra linea perpendicolare nel punto 2 costituisce il Sesto della Cupola Esterna. Le due linee che partono nell'intersecante 5 num.10, dimostrano il luogo del maggior spingimento dell'Edifizio circolare.

*Le tre linee che partono dal num.4, segnate 10, costituiscono il luogo delle Catene per opporsi allo spingimento. La metà della Cupola costituisce la circonferenza 7, uguale all'altra 8 che circuisce l'altezza della Lanterna, senza la Palla della Croce. Le due linee **I**, che partono dalla circonferenza del tamburo **G** e si vanno a intersecare sotto la Palla, costituiscono la Base Piramidale della Lanterna".*

L'INCARICO DELLA PERIZIA

Un'osservazione preliminare. Nella premessa della perizia, dove si legge l'affidamento dell'incarico ai tre Matematici, un importante aspetto da evidenziare consiste nell'uso delle parole *"ristaurazione"* e *"conservazione"*. Ciò a dimostrazione di una chiara volontà di finalizzare gli interventi proposti verso la tutela dell'esistente, con un lodevole intento conservativo già presente in un'epoca in cui la filosofia del restauro non aveva ancora trovato una chiara definizione. Essi scrivono infatti:

*Benedetto XIV alla fine del novembre 1741 da ordine a Monsignor Gio. Francesco Abbati Olivieri Segretario ed Economo della Rev. Fabbrica di S. Pietro di ricercare il sentimento de' Matematici e nominatamente di noi tre sottoscritti sopra i danni presenti, che si osservano nella cupola della detta Basilica e molto più per la sua **ristaurazione** acciò possano gli architetti metter in pratica i rimedi, che verranno giudicati più necessari per la stabile **conservazione** della gran mole.*

L'aspetto innovativo che qui si intende evidenziare riguarda però l'applicazione del metodo scelto per la definizione degli interventi. Pur non facendo un esplicito riferimento a Galileo, essendo ancora vivo il ricordo dell'esito del processo del 1633 ed essendo ancora all'indice i suoi scritti (lo saranno fino al 1822¹²), i tre Matematici affrontano un problema di restauro statico applicando, sembra per la prima volta, un procedimento di calcolo di natura scientifica. Essi evidenziano l'importanza di operare non solo mediante le "*proprie oculari osservazioni*", ma soprattutto assumendo come riferimento una "*buona teoria fondata sulla Meccanica*". Nel dettaglio il testo è il seguente.

*Nulla meno bisognoso di una pratica ben fondata sulle proprie oculari osservazioni e esperienze, ma (anche) di una **buona teoria fondata sulla Meccanica** per conoscere dagli effetti la causa del male, e adattare i progetti alla natura della medesima, determinando quali siano i necessari e giovevoli quali gl'inutili e forse ancora nocivi.*

La perizia si svolge poi in modo esemplare. Il procedimento segue un percorso che può essere suddiviso nelle quattro fasi seguenti, secondo un approccio logico e coerente:

- un'attenta e minuziosa osservazione dello stato di fatto con la quale si accerta la consistenza e la rilevanza dei fenomeni in atto (*diagnosi*);
- una valutazione, desunta dalle osservazioni precedenti, riguardante l'individuazione delle cause che possono o non possono avere determinato i fenomeni (*eziologia*);
- una disamina dei possibili criteri e delle metodologie disponibili che possono essere usate per valutare e per definire, anche quantitativamente, i rimedi da adottare (*prognosi*);
- una definizione dettagliata delle modalità esecutive da seguire per l'applicazione dei rimedi individuati (*terapia*).

Il testo completo è in corso di stampa presso l'Editore Il Prato, Padova.

¹² La riabilitazione di Galileo da parte della Chiesa Cattolica si può datare al 1822, 180 anni dopo la sua morte, con la concessione dell'imprimatur all'opera "Elementi di ottica e astronomia" del canonico Settele, che dava come teoria consolidata e del tutto compatibile con la fede cristiana il sistema copernicano. Solo il 31 ottobre del 1992 la relazione finale del cardinale Poupard affermò che la condanna del 1633 fu ingiusta a causa di un indebito mescolamento di teologia e cosmologia arretrata.